

УДК 631.333
© 2009

**В.В. ВАСИЛЬКІВ,
І.Б. ГЕВКО,**
кандидати технічних наук,

С.Ф. БАБАРИКА,
науковий співробітник

Тернопільський державний
технічний університет
ім. Пулюя–Луцький державний
технічний університет

СИНТЕЗ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ГВИНТОВИХ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН ВНЕСЕННЯ ТВЕРДИХ ОРГАНІЧНИХ ДОБРІВ

На основі теорії the Analytic Hierarchy Process та теорії нечітких множин запропонована методика вибору перспективних технічних рішень робочих органів машин для внесення твердих органічних добрив на стадії технологічної підготовки виробництва. Основними критеріями відбору є множини характеристик як існуючих, так і нових синтезованих технічних рішень таких машин.

Одним із перспективних шляхів поповнення органіки на полях є внесення у різному вигляді органічних добрив, зокрема перегною, біосапропелєвих добрив тощо. Для широкого використання таких добрив необхідно удосконалювати і покращувати систему машин, призначених для їх розкидання.

Питаннями синтезу і дослідженням нових конструкцій розкидачів органічних добрив присвячені праці В. Ясенєцького, А.М. Бондаренка, В.А. Богом'яких, А.П. Дьячкова, Ю.Н. Баранова, А.П. Жданова, В.З. Ловкіса, А.Д. Лашука, І. Вітруха та ін. Незважаючи на значну кількість наукових напрацювань, актуальною залишається проблема вибору перспективних технічних рішень робочих органів машин для внесення твердих органічних добрив на стадії технологічної підготовки виробництва на основі урахування множини характеристик як існуючих, так і нових синтезованих технічних рішень.

Тому метою роботи був синтез конструкцій бітерних розкидачів для розкидання органічних добрив за рахунок розробки методики оцінки ефективності проектних рішень на стадії технологічної підготовки виробництва.

Робота виконана в рамках проекту "Система автоматизованого уніфікаційного

синтезу високоефективних технологічних інновацій" (грант ДФФД МОН УКРАЇНИ, № 0107U000541).

У процесі вибору найкращого варіанта серед синтезованих конструкцій машин їх порівнюють між собою та з відомими промисловими зразками. Для цього оцінювати можна за їх характеристиками машин, основними з яких є:

1) *конструктивні параметри* (конструктивна ширина захвату, місткість кузова, максимальна продуктивність розкидального механізму, максимальна вантажопідйомність, маса гноєрозкидача конструктивна, маса окремих елементів конструкції, конструктивно-компонувальна схема, коефіцієнт уніфікації, питомий тиск на ґрунт);

2) *експлуатаційні показники* (максимальна споживана потужність; робоча швидкість; коефіцієнт використання ширини захоплення; продуктивність за годину основного часу, змінного часу та експлуатаційного часу; наробіток за цикл; шлях і час спорожнювання кузова; маневреність – радіус (максимальний) і час повороту; коефіцієнти технологічного і технічного обслуговування; надійність (коефіцієнт готовності); надійність технологічного процесу; безвідмовність – наробіток на відмовлення; вантажообіг; витрата палива

на одиницю виробітку; сезонне завантаження (виробіток));

3) *показники пристосованості до умов і технологій* (діапазони регулювання ширини захоплення - висоти навантаження, рівномірності внесення діапазон норми внесення, пристосованість до схем виробничого процесу);

4) *показники якості роботи* (об'єм добрив на одиниці поверхні внесення, ступінь покриття, нерівномірність розподілу по ширині в статиці - коефіцієнт варіації, по площі; коефіцієнт використання добрив, технічна ефективність, коефіцієнти дисперсності розкиданих добрив та налипання органічних і соломовмісних добрив на робочому органі);

5) *економічні показники* (вартість гноєрозкидача, окремих елементів; затрати праці, прямі та зведені затрати).

Вибір раціонального варіанта машини може здійснюватися з умов мінімізації або максимізації відповідних характеристик, тому необхідно вибирати технічне рішення, до показників якого можуть пред'являтися різні вимоги: одні показники мають бути мінімальними, а інші - максимальними.

Структуру будь-якої технічної системи можна представити у вигляді ієрархії, яка складається із сукупності елементів і зв'язків між ними. Такі елементи і зв'язки описують кодом [2], у якому перший символ - це позначення рівня ієрархії, а індекс цього символу - порядковий номер елемента на даному ієрархічному рівні. Наступний символ коду містить інформацію про материнський елемент: номер ієрархічного рівня і порядковий номер на даному ієрархічному рівні. Останній символ позначає належність до структури прототипу (A_1, A_2, \dots, A_m) або альтернативи ($A(m+1), \dots$). Кожний елемент - це властивості, а зв'язки - причинно-наслідкові (логічні) залежності між властивостями.

На кожному з ієрархічних рівнів розміщується один елемент структури прототипу, який підлягає вдосконаленню, та альтернативні варіанти такого елемента. Усі елементи, які розміщені на одному ієрархічному рівні досліджують за допомогою методу аналізу ієрархії (*the Analytic Hierarchy Process, AHP*) [3], в результаті чого одержується вектор прі-

оритету такого ієрархічного рівня. Отже, кожний елемент ієрархічної структури оцінюється відповідним значенням елемента вектора пріоритету. Для синтезу нової технологічної системи використовується операція кросінг-вера, зміст якої полягає у генеруванні множини структури інноваційних систем, шляхом операції заміщення елементів ієрархії з урахуванням зв'язків між її елементами.

Припустимо, що в результаті генерування нових технічних рішень сформовано ієрархічну структуру альтернатив

$$\bigcup_{j=1}^{J_{\max}} \left\{ \bigcup_{i=1}^K J_i J_i^M A_i \right\}, \quad (1)$$

де J_{\max} - кількість ієрархічних рівнів;

i - індекс елемента на ієрархічному рівні, який відповідає номеру альтернативи;

A_i - позначення альтернативи.

У результаті досліджень рівнів ієрархії за показниками якості визначено величини векторів пріоритету альтернатив:

- для першого рівня ієрархії:

$$W(Q1, I^M) = \|x(1, I^M A_1) x(1, I^M A_2) \dots x(1, I^M A_k)\|^T;$$

- для другого рівня:

$$W(Q2, I^M) = \|x(2, I^M A_1) x(2, I^M A_2) \dots x(2, I^M A_k)\|^T;$$

- для k-го рівня:

$$W(Q(J_{\max}^M), (J_{\max}^M)^M) = \|x(J_{\max}^M, J_{\max}^M A_1) \times x(J_{\max}^M, J_{\max}^M A_2) \dots x(J_{\max}^M, J_{\max}^M A_k)\|^T,$$

або в загальній формі

$$W(QJ, J_i^M) = \bigcup_{T=1}^{J_{\max}} \left\{ \bigcup_{i=1}^K x(J_i J_i^M A_i) \right\}, \quad (2)$$

де $x(J_i J_i^M A_i)$ - значення елемента вектора альтернатив для $J_i J_i^M A_i$ -го елемента ієрархії, який належить A_i -ому технічному рішенню.

У процесі вибору оптимального варіанта технічного рішення обов'язково необхідно вирішувати задачу, пов'язану з тим, що один альтернативний варіант буває кращим за інший на одних рівнях ієрархії, а гірший - по інших.

Розглянуто задачу вибору раціонального варіанта технічного рішення для випадків, коли в ієрархічній структурі для окремих альтернатив значення векторів пріоритетів на одних рівнях ієрархії мінімізується, а на інших - максимізується.

Одним із розв'язків поставленої задачі є використання теорії нечітких (розмитих або

розпливчастих) множин.

Нехай $J_1, J_2, J_3, \dots, J_k$ – рівні ієрархії, кожному з яких поставлено у відповідність значення вектора пріоритету альтернатив, а $A_i = \{A1, A2, \dots, Ak\}$ – кінцева множина альтернатив (варіантів технічних систем), $A_e \subset A_i, e = 1, 2, \dots, k$ – нечіткі множини, які відповідають рівням J_i і які виділяють варіанти технічних систем, що переважають над іншими за кожним із значень.

Нечітка підмножина A_e задається, як показано в структурі [1], функцією приналежності $\mu_j(\tau)$, яка набуває значень з інтервалу $[0; 1]$. Функція μ_j приймає значення 1, якою даний варіант є найкращим на даному ієрархічному рівні, значення 0 для варіантів, які не включені в множину A_e (тобто варіантів, які є неприйнятними).

Функцію приналежності можна записати так:

а) для рівнів ієрархії, значення векторів пріоритетів альтернатив яких вибираються мінімальними,

$$\mu_j(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{x(J_i J_i^M A_i) - x(J_i J_i^M A_i)_{\min}}{x(J_i J_i^M A_i)_{\max} - x(J_i J_i^M A_i)_{\min}}, & \text{якщо} \\ x(J_i J_i^M A_i) - x(J_i J_i^M A_i)_{\min} \leq \Delta x(J_i J_i^M A_i), \\ 0, & \text{у протилежному випадку;} \end{cases} \quad (3)$$

б) для рівнів ієрархії, значення векторів пріоритетів альтернатив яких вибираються максимальними,

$$\mu_j(\tau) = \begin{cases} 1 - \frac{x(J_i J_i^M A_i) - x(J_i J_i^M A_i)_{\max}}{x(J_i J_i^M A_i)_{\max} - x(J_i J_i^M A_i)_{\min}}, & \text{якщо} \\ x(J_i J_i^M A_i)_{\max} - x(J_i J_i^M A_i)_{\min} \leq \Delta x(J_i J_i^M A_i), \\ 0. \end{cases} \quad (4)$$

де $x(J_i J_i^M A_i)$ – значення елемента вектора пріоритетів альтернатив J -го рівня ієрархії A_i -ої альтернативи технічної системи;

$x(J_i J_i^M A_i)_{\max}$ і $x(J_i J_i^M A_i)_{\min}$ – максимальне і мінімальне значення елементів вектора пріоритетів альтернатив J -го рівня ієрархії;

$\Delta x(J_i J_i^M A_i)$ – допустиме значення на J -ому рівні ієрархії.

Значення функції належності $\mu_A(\tau)$ можна подати так:

$$\mu_A(\tau) = \min\{\mu_1(\tau), \mu_2(\tau), \mu_3(\tau), \dots, \mu_k(\tau)\}. \quad (5)$$

Ця функція визначає відношення переваг варіантів множини альтернатив A_i за ієрархічними рівнями J_i . Більшому значенню μ_A

відповідає кращий варіант. Максимум такої функції відповідає оптимальному варіанту:

$$\tau_{opt} : \mu_A(\tau_{opt}) = \max_{1 \leq \tau \leq k} \mu_A(\tau), \quad (6)$$

де k – кількість альтернативних варіантів, або з урахуванням значення функції належності (5)

$$\tau_{opt} : \mu_A(\tau_{opt}) = \max \min\{\mu_1(\tau), \mu_2(\tau), \dots, \mu_k(\tau)\}, \quad 1 \leq \tau \leq k. \quad (7)$$

При цьому $\mu_A(\tau_{opt}) = 1$, якщо $\mu_j(\tau_{opt}) = 1, j = 1, 2, \dots, k$, тобто, коли варіант τ_{opt} є найкращим за показниками усіх ієрархічних рівнів. У загальному випадку $\mu_A(\tau_{opt}) \leq 1$, що відповідає наближеному характеру вирішення багатокритеріальної задачі.

Відзначимо, що вираз (7) можна розглядати як нелінійне співвідношення, яке визначає безрозмірний глобальний критерій якості.

Приклад. Вибрати раціональний варіант робочого органа машин для внесення твердих органічних добрив, на основі досліджень чотирьох рівнів ієрархії: 4-го (конструктивно-компонувальна схема), 7-го (ступінь покриття), 12-го (коефіцієнт дисперсності розкидання добрив), 16-го (вартість гноєрозкидача). При цьому відомі прототипи A1 ("Miro", мод. 2VV), A2 ("Ковельськимаши", мод. МТО-12). У результаті генерування елементів на таких 4-х ієрархічних рівнях одержано 5 альтернативних варіантів технічних рішень: A3-A7.

Елемент ієрархічної структури такої системи має вигляд:

| | | | | | | |
|----------|----------|----------------|---------------|----------|----------|----------|
| 4,2,A1 | 4,2,A2 | 4,2,A3 | 4,2,A4 | 4,2,A5 | 4,2,A6 | 4,2,A7 |
| 7,6,A1 | 7,6,A2 | 7,6,A3 | 7,6,(A4 ∪ A6) | 7,6,A5 | 7,6,A6 | 7,6,A7 |
| 12,3,A1 | 12,3,A2 | 12,3,(A3 ∪ A4) | | 12,3,A5 | 12,3,A6 | 12,3,A7 |
| 16,15,A1 | 16,15,A2 | 16,15,A3 | 16,15,A4 | 16,15,A5 | 16,15,A6 | 16,15,A7 |

$$\text{де } S(A1) = \begin{bmatrix} 4,2,A1 \\ 7,6,A1 \\ 12,3,A1 \\ 16,15,A1 \end{bmatrix}; \quad S(A2) = \begin{bmatrix} 4,2,A2 \\ 7,6,A2 \\ 12,3,A2 \\ 16,15,A2 \end{bmatrix} -$$

структури прототипів A1 і A2 за 4, 7, 12 і 16-им ієрархічними рівнями;

$$S(A3) = \begin{bmatrix} 4,2,A3 \\ 7,6,A3 \\ 12,3,(A3 \cup A4) \\ 16,15,A3 \end{bmatrix}; \quad S(A4) = \begin{bmatrix} 4,2,A4 \\ 7,6,(A4 \cup A6) \\ 12,3,(A3 \cup A4) \\ 16,15,A4 \end{bmatrix};$$

$$S(A5) = \begin{bmatrix} 4,2,A5 \\ 7,6,A5 \\ 12,3,A5 \\ 16,15,A5 \end{bmatrix}; \quad S(A6) = \begin{bmatrix} 4,2,A6 \\ 7,6,A6 \\ 12,3,A6 \\ 16,15,A6 \end{bmatrix};$$

$$S(A7) = \left\| \begin{array}{l} 4,2, A7 \\ 7,6, (A4 \cup A6) \\ 12,3, A7 \\ 16,15, A7 \end{array} \right\| - \text{структури відповід-}$$

но до альтернативних варіантів А3–А7.

Умови вибору раціонального варіанта такі. Значення елемента вектора пріоритету альтернатив: а) четвертий рівень – мінімальне, $W_4 \rightarrow \min$; б) сьомий рівень – максимальне, $W_7 \rightarrow \max$; в) дванадцятий рівень – максимальне, $W_{12} \rightarrow \max$; г) шістнадцятий рівень – мінімальне, $W_{16} \rightarrow \min$.

Матриця вектора пріоритету альтернатив від показників якості за 4, 7, 12 і 16 ієрархічними рівнями має вигляд:

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 |
|--------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| $J=4$ | 0,15 | 0,26 | 0,31 | 0,08 | 0,1 | 0,045 | 0,055 |
| $J=7$ | 0,1 | 0,20 | 0,16 | 0,1 | 0,21 | 0,1 | 0,02 |
| $J=12$ | 0,16 | 0,25 | 0,15 | 0,15 | 0,1 | 0,05 | 0,14 |
| $J=16$ | 0,18 | 0,12 | 0,16 | 0,1 | 0,05 | 0,25 | 0,14 |

Розв'язок. Визначаємо значення функцій приналежності $\mu_4(\tau)$, $\mu_{16}(\tau)$ за формулою (3), а $\mu_7(\tau)$, $\mu_{12}(\tau)$ – за формулою (4). Результати розрахунків представлено у формі таких матриць:

| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $J=4, W_4$ | 0,15 | 0,26 | 0,31 | 0,08 | 0,1 | 0,045 | 0,055 |
| $\mu_4(\tau)$ | 0,603 | 0,188 | 0,0 | 0,868 | 0,792 | 1,0 | 0,962 |
| $J=7, W_7$ | 0,10 | 0,20 | 0,16 | 0,1 | 0,21 | 0,21 | 0,02 |
| $\mu_7(\tau)$ | 0,421 | 0,947 | 0,736 | 0,421 | 1,0 | 1,0 | 0,0 |
| $J=12, W_{12}$ | 0,16 | 0,25 | 0,15 | 0,15 | 0,1 | 0,05 | 0,05 |
| $\mu_{12}(\tau)$ | 0,55 | 1,0 | 0,5 | 0,5 | 0,25 | 0,0 | 0,45 |
| $J=16, W_{16}$ | 0,18 | 0,12 | 0,16 | 0,1 | 0,05 | 0,25 | 0,14 |
| $\mu_{16}(\tau)$ | 0,35 | 0,65 | 0,45 | 0,75 | 1,0 | 0,0 | 0,55 |
| $\mu_A(\tau)$ | 0,35 | 0,188 | 0,0 | 0,421 | 0,25 | 0,0 | 0,0 |

$$\mu_A(\tau_{opt}) = \max \mu_A(\tau) = 0,421.$$

Значення матриці $\mu_A(\tau)$ визначається за формулою (5). Вони описують функцію приналежності за чотирма ієрархічними рівнями. Оптимальним рішенням розглядуваної задачі є вибір альтернативного варіанта А4, якому відповідає максимум функції $\mu_A(\tau)$ – формула (7).

Близькими до цього варіанта за значеннями функції $\mu_A(\tau)$ є прототип А1 та альтернативний варіант А5.

На основі теорії the Analytic Hierarchy Process та теорії нечітких множин запропонована методика вибору перспективних технічних рішень робочих органів машин для внесення твердих органічних добрив на стадії технологічної підготовки виробництва.

Бібліографія

1. Андрейчиков Ю.М. Компьютерная поддержка изобретательства (методы, системы, примеры, применения) / Ю.М. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М. : Машиностроение, 1998. – 476 с.

2. Васильків В.В. Аналіз і класифікація гвинтових розкидальних пристроїв як передумова генерування нових

конструкцій розкидачів органічних добрив [Текст] / В. Васильків, С.Ф. Бабарика // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛНТУ, 2008. – Вип. 23. – С. 33–43.

3. Saaty T.L. Homogeneity and clustering in the AHP ensures the validity of the scale / T.L. Saaty // European Journal of Operational Research. – 1994. – V. 72.